放射能處理甘藷儲藏研究及處理後營養分之變遷*

繆 進 三　鍾 桂 堂

一、緒　　言

目前歐美各國，對于食物儲藏，如肉類、奶汁、蔬菜、果品等，均已試行應用放射能處理。至目前爲止，其實驗結果，認爲放射能處理，尙不能完全代替其他食物儲藏處理之方法。但其逐漸發展，在適當條件與專門目的之下，可用爲現在通行儲藏方法之補助措施。如冷凍、加熱，化學藥品，脫水，抗生素之應用等儲藏處理方法，配合以較低劑量之適當放射能處理，當可逐漸達到經濟上應用之目的[3]。據 Connor, Johnson, Metta 及 Tsien 等氏報告[2,4]，渠等曾用 Gamma 線 3,000,000 r 消毒牛肉、牛奶、麵粉及各種豆類蔬菜，以便保存。研究結果，放射能消毒之肉、乳含有之氮化物及其消化率、吸收率與生肉、生牛乳無大差異，或差異不甚顯著。氏等用感受放射線之牛肉與麵粉分三組飼養23星期年齡之雌鼠，每星期調査其體重增加之數量，結果表示對其生長發育並無影響。

A. H. Sparrow 與 E. Christensen 二氏[1]以馬鈴薯爲研究材料，在美國 Brookhaven 研究所，經過數年之研究，照射 CO^{60} r- 線，其劑量爲 1,250, 5,000, 20,000 與 80,000 r。處理後並予冷藏。迨 8 個月後觀察，認爲 5,000 r 及 20,000 r 兩處理情形較佳，其餘者均略呈軟化。至18個月後，5,000 r 及 20,000 r 仍然較堅實，對照處理則已更形柔軟皺縮。至於前二處理食味品質，仍無大變化。但原作者未有化學分析報告，僅謂高劑量處理對維他命含量可能減少，蓋基于英國方面對于桔汁之分析報告如此。

想及本省馬鈴薯出產不多，而甘藷生產甚爲普遍，甘藷儲藏，在南部則製簽日晒乾燥，在北部冬季甘藷收穫期逢雨季，製簽晒乾，頗有困難。本研究乃倣照歐美馬鈴薯儲藏試驗，希望使用本地易得之放射能來源，處理甘藷塊根，而延長其儲藏期間，研究適當劑量及儲藏方法，使儲藏期間之品質損害最低，而儲藏期間可以延長最久。本研究以使用 X射線較爲方便，係與國立清華大學原子科學研究所合作辦理者。

二、研 究 目 的

(一)探求以何種 X光劑量照射甘藷，對防止發芽及防止病蟲害，延長儲藏期最有效果。

(二)研究 X射線處理甘藷塊根後，其所含營養分之變化。

(三)以小白鼠作營養試驗，觀察其食用放射能處理之甘藷塊根，對其身體影響如何。

三、試驗材料及處理强度

本試驗使用臺農57號紅心甘藷120條，臺農58號黃心甘藷120條。另以臺農57號甘藷處理 x-ray 7,000 r 及 10,000 r 劑量共 100 條爲動物飼養用。以上均儲藏于特製之通氣鉛絲橱中。至于處理强度參照臺大農學院科學農業雜誌迻譯國外文獻，對于糧食儲藏處理，因處理目的而使用之放射量如下：

---

* 本篇承國家長期發展科學委員會于民國四十八年度補助研究

處　理　目　的	放射量 reps
抑止洋葱馬鈴薯或胡蘿蔔之發芽	5,000～15,000
毀滅旋毛蟲(寄生蟲)	25,000～50,000
驅除昆蟲	50,000～100,000
抑制菌黴	150,000～250,000
低度殺菌	500,000～1,000,000
殺菌	2,000,000～5,000,000

本研究初期預備試驗參照上述强度擬定照射劑量等級如下：

(1) 10,000 r (x-ray)

(2) 30,000 r (x-ray)

(3) 70,000 r (x-ray)

(4) 140,000 r (x-ray)

(5) 430,000 r (x-ray)

(6) 1,000,000 r (x-ray)

上述各處理，每處理塊根5條，于48年11月24～27日在清華大學研究所物理系加速器研究室進行，照射完畢。由于處理後兩個半月(75日)觀察，自14萬r照射量以上各處理，均已軟化，似不合儲藏目的，可能使用劑量嫌高，乃另行設計一萬r以下各照射强度之處理。此項劑量乃美國白克海芬(Brookhaven)研究所，專爲馬鈴薯儲藏處理所應用之强度，而推想較爲適宜之强度範圍。

(1) 1,250 r

(2) 5,000 r

(3) 7,000 r

(4) 10,000 r

每處理亦爲塊根5條，于49年1月15日仍在清華大學加速器研究室處理完畢。

四、研究結果

關于第一批處理材料(48年11月24～27日處理)于49年2月12日即處理後75日觀察結果，大抵x-ray 7萬r以下之劑量，對防止發芽確有效果，而7萬r以上之劑量等級，自14萬r起，處理後不久，甘藷塊根卽行軟化。

x-ray 劑量	甘藷品種	處理後反應	對照情形(未經處理者)
1萬γ	臺農57號	軟化(可能有誤差)未發芽。	正常，已發芽。
	臺農58號	正常，未發芽。	正常，已發芽。
3萬γ	臺農57號	正常，未發芽。	正常，已發芽。
	臺農58號	正常，未發芽。	正常，已發芽。
7萬γ	臺農57號	正常，未發芽。	正常，已發芽。
	臺農58號	正常，未發芽。	正常，已發芽。
14萬γ	臺農57號	處理後21日開始軟化，未發芽。	正常，已發芽。
	臺農58號	處理後14日開始軟化，未發芽。	正常，已發芽。
43萬γ	臺農57號	處理後7日開始軟化，未發芽。	正常，已發芽。
	臺農58號	處理後7日開始軟化，未發芽。	一條軟腐，其他正常，已發芽。

100萬γ	臺農 57 號	處理後2日卽軟化，未發芽。	正常，已發芽。
	臺農 58 號	處理後立卽軟化，未發芽。	正常，已發芽。

本試驗處理3萬γ以上之高劑量，使甘藷塊根水分失去較對照組（未經處理者）爲快。所受劑量愈高，水分失去愈快。又受上列劑量處理者均未發芽，而未經處理之對照組則發芽甚長，且有患軟腐病者一條，經處理者則未有病害。根據本試驗，7萬γ似爲甘藷儲藏處理所能忍受之最高劑量。7萬γ以上之處理，在處理後兩個半月甘藷塊根物理性質先後劣變(軟化)，似無經濟價值。又處理後可能塊根肉質細胞膜已被冲擊破壞，而胡蘿蔔素亦已減損，因由于胡蘿蔔素（細胞內含物）在塊根橫切面形成之橙紅色暈環，未處理者界線甚爲鮮明，被x-ray處理者其橫切面暈環已模糊，且顏色變淡。

處理後塊根之化學成分與未經處理者比較其維他命A、C兩部分之變化情形如次：

x-ray 處理後甘藷塊根 Vitamin C 減損情形表（處理後14日分析）

塊根處理劑量	重複	各等級照射量處理後 Ascorbic Acid 含量	對照（未經處理）之 Ascorbic Acid 含量	指數 各處理	指數 對照
1萬γ	I	20.1 mg/100gm	25.6 mg/100gm	78.51	100
	II	18.7 mg/100gm	26.2 mg/100gm	71.37	100
3萬γ	I	23.7 mg/100mg	24.7 mg/100gm	95.95	100
	II	24.0 mg/100gm	25.6 mg/100gm	93.75	100
7萬γ	I	8.24 mg/100gm	21.6 mg/100gm	38.14	100
	II	8.61 mg/100gm	21.6 mg/100gm	39.86	100

x-ray 處理後甘藷塊根胡蘿蔔素減損情形表（處理後14日分析）

塊根處理劑量	重複	各等級照射量處理後 Carotene 含量	對照（未經處理）之 Carotene 含量	指數 各處理	指數 對照
1萬γ	I	295 γ/100gm	646 γ/100gm	45.66	100
	II	295 γ/100gm	606 γ/100gm	68.67	100
3萬γ	I	328 γ/100gm	750 γ/100gm	43.73	100
	II	298 γ/100gm	740 γ/100gm	40.27	100
7萬γ	I	317 γ/100gm	535 γ/100gm	59.25	100
	II	337 γ/100gm	535 γ/100gm	62.99	100

以上所用品種爲臺農57號(紅心甘藷)係由本系派員與國防醫學院生化系合作分析。每組用爲對照者均爲與被照射處理大小相似之塊根。由上面兩表觀察甘藷塊根之內含物維他命A、C經x-ray處理後均有損失。胡蘿蔔素約損失31～61%，Vitamin C 約損失 4～62%。但各處理等級間之損失情形理應有一減損之趨勢線，但在本試驗結果未能明顯表示，可能由于試驗重複較少而爲試驗誤差所蒙蔽。不過可得一概念 x-ray 處理甘藷塊根，自 10,000～70,000γ 之强度，均使其內含物維他命A、C有損失情形。其後復于儲藏後四個月(卽5月15日)將低劑量處理之臺農57號甘藷塊根各兩條 5,000γ 及 10,000γ 兩平準，另一組爲對照，分析其維他命A、C含量其結果如下列所示：

x-ray 劑量	Ascorbic acid 含量 mg/100gm	Carotene 含量 I.U./100gm
對照(未處理)	21.15	7,100

5,000γ 處理	20.70	7,400*
10,000γ 處理	20.02	6,900

* 此數字恐有試驗誤差因素在內。

根據上表分析結果，可知處理後維他命 A、C 之含量，大都均有減少。(惟 Carotene 含量在 5,000γ 處理之甘藷，反略有增加，想爲試驗誤差之故)。惟根據本組分析結果，在低劑量情形下，其減損情形並不十分嚴重。

關于氨基酸之分析工作與臺灣大學畜產系家畜營養研究室合作，發現經 x-ray 處理之甘藷塊根，由 70,000γ 至 140,000γ，其總蛋白質量，總氨基酸量，及氨基酸種類均無顯著變化。

①關于粗蛋白質總量之分析結果：

	水份		粗蛋白質 N×6.25	
對照(甲) (無處理)	I	69.93%	I	3.39%
	II	69.88%	II	3.42%
	平均	69.90%	平均	3.395%
14萬γ 處理	I	70.82%	I	3.55%
	II	71.02%	II	3.61%
	平均	70.92%	平均	3.58%
對照(乙) (無處理)	I	69.76%	I	3.31%
	II	70.23%	II	3.36%
	平均	69.99%	平均	3.335%
7萬γ 處理	I	70.64%	I	3.41%
	II	70.71%	II	3.34%
	平均	70.67%	平均	3.375%

由上表觀察，處理後粗蛋白質量似有微量增加，但因樣品甚少，由生物統計觀點此項差異大體在不顯著範圍之內。故可謂X線處理甘藷塊根粗蛋白質量無大變化。7萬γ及14萬γ之處理如此，在此强度以下之劑量則影響可能更小。

②關于 Amino Acid 定性分析結果：

用 Tow Dimensional paper chromatography 二元式濾紙色層分析法結果，可鑑定之氨基酸種類爲：(1) Aspartic Acid (2) Glutamic Acid (3) Serine (4) Glycine (5) Threonine (6) Alanine (7) Lysine (8) Tyrosine (9) Phenylatanine 除此之外 (10) Valine (11) Methionine (12) Isoleucine 與 (13) Lencine 之 Spot 在此 Solvent system 中不能分離，另 Tryptophan 不能用酸水解法測定外，其他氨基酸未能在本試驗濾紙上顯示 Spot，在對照(未處理者)及7萬γ及14萬γ x-ray 處理者相同。由上所獲結果可以得知，甘藷經過 x-ray 處理劑量高至7萬γ以至14萬γ對蛋白質含量及對蛋白質內之九種以上之氨基酸，亦未有破壞作用。(見附圖VII～IX)故若用較低劑量，當更無影響。至于能否改變氨基酸之種類，當待日後之繼續研究。

處理後三個月觀察三個低劑量處理 (1,250γ, 5,000γ 及 10,000γ) 塊根表型，其對照各組 (即未處理 x-ray 各組) 均已發芽甚長，而 1,250γ 處理組亦已發芽甚長 (即 1,250γ 無抑制發芽作用) 此外 5,000γ, 7,000γ, 10,000γ 處理三組，對發芽均有抑制作用。此在臺農57號及58號兩品種情形相似。(圖 I ～ II)

處理後 5 個月，1250γ 處理組發芽甚長，而 5000γ 處理組之臺農58號亦已露出芽眼。7000γ

及10,000 γ 兩處理組則已開始軟化。對照組塊根卽未經 x-ray 處理者，發芽更長，且已放嫩葉，故其內含養料已更多損失。(圖Ⅲ～Ⅵ)。

關于儲藏期間失去重量情形，低劑量處理者，比對照組失去重量較慢，當1,250 γ 處理組及對照組如除去芽條以後，其塊根重量比未發芽者失重更多。總觀本試驗 5,000 γ x-ray 處理組，塊根在處理後5個月仍然完整，且未發芽，似爲全試驗最有利之處理强度。

動物營養試驗，選擇體重在 8, 9, 10克左右之小白鼠，隨機分配各處理之飼養罐中，每罐一頭，每日飼餵甘藷切塊3克，沾豆油及麵粉一薄層，另稻谷3克，每晨換新飼料一次，其結果如下列：

甘藷儲藏處理後4個月開始白鼠營養試驗結果：

甘藷飼料處理	鼠號	體重變遷情形（克）						比飼養開始時增重克數	平均增重
		5/13日	5/24日	5/31日	6/8日	6/16日	6/23日		
無處理(對照)	T_0 1	10.1克	12.5	14.0	13.4	16.6	18.5	+8.4	$\frac{31.7}{4}$ =7.92
	T_0 5	10.0	13.0	13.8	13.8	15.6	18.5	+8.5	
	T_0 8	9.0	11.3	11.2	11.6	12.6	14.5	+5.5	
	T_0 7	9.7	12.0	14.9	14.3	17.1	19.0	+9.3	
x-ray 7,000 γ 處理甘藷飼料	T_2 9	8.5	10.0	10.9	11.0	13.0	14.5	+6.0	$\frac{25.1}{4}$ =6.27
	T_2 10	10.5	13.0	13.9	13.8	15.8	16.5	+6.0	
	T_2 14	13.3	16.3	17.8	17.4	20.8	21.0	+7.7	
	T_2 15	9.1	11.0	11.5	11.6	12.6	14.5	+5.4	
x-ray 10,000 γ 處理甘藷飼料	T_4 17	8.7	9.5	10.1	10.3	10.7	11.0	+2.3	$\frac{11.5}{4}$ =2.87
	T_4 18	8.3	10.3	11.8	11.4	13.0	14.0	+5.7	
	T_4 19	7.8	9.0	9.4	8.8	9.3	9.5	+1.7	
	T_4 23	9.2	10.5	11.9	10.4	10.9	11.0	+1.8	

故由上表觀察，小白鼠食用 x-ray 處理之甘藷配合其他飼料，體重增加較慢，似因處理後之甘藷維他命成分不足爲其原因之一。此外處理後甘藷之食味，在儲藏5個月後試食，未經放射能處理之甘藷與1,250 γ, 5,000 γ, 7,000 γ 者相比較，未經處理者味較甜且較粘，處理者(各處理)仍可食，甜度，粘度稍差，(甜度有減損，與馬鈴薯處理後甜度增加之情形恰相反。)[1]且有類似青草臭味，可能影響小白鼠之食慾，亦爲體重增加較慢原因之一。此外或尙有其他未知原因，使處理後之甘藷塊根，對小白鼠之營養價值減低。但 7,000 γ 處理者，與對照處理增重情形相差猶小。而10,000 γ 處理者，則其增重情形相差甚大。

五、結果摘要

① x-ray 一萬 γ 以上之劑量爲儲藏目的處理甘藷後，不久塊根均軟化，不能達到儲藏目的。

②一萬 γ 以下之劑量 x-ray 處理之甘藷儲藏期間，失去重量較慢，至儲藏後3個月止，一切正常，不發芽未腐爛。

③ x-ray 1,250 γ 無抑制發芽效果，處理後3個月，發芽甚長，其餘各處理組大都未發芽，僅臺農58號 5,000 γ 等級處理者露出芽眼。

④ 5,000 γ～10,000 γ 均有抑制發芽效果。

⑤處理後3個月 5,000 γ～10,000 γ 均表示對儲藏有利益，可以抑制發芽，水分失去較慢，未有腐爛。但對照組除發芽甚長外，亦少有腐爛，不過由于儲藏期間發芽關係，對照組水分乾物量均失

去較快。

⑥處理後4個半月 7,000 γ 及 10,000 γ 兩處理開始腐爛。

⑦ 5,000 γ 處理之甘藷，處理後5個月已稍稍發芽，表示生命力未喪失，且甚爲完整。

⑧化學成分分析，已知處理後維他命 A、C 均有損失，蛋白質，氨基酸無大變化。

⑨動物營養試驗41日間（5月13日以迄6月23日）以 7,000 γ 及 10,000 γ 兩種處理之甘藷，飼餵小白鼠與未處理之甘藷飼餵作對照，其增重情形，以對照最快，平均增重 7.92 克，7,000 γ 處理次之，平均增重 6.27 克，10,000 γ 處理更次之，平均增重 2.87 克。可能由于 x-ray 處理使甘藷維他命損失，而致營養價值降低，食用後影響白鼠之正常發育。亦可能由于處理後甘藷有特殊青草臭味，更影響小白鼠之食慾。本研究與國外同樣性質之試驗，行之於馬鈴薯者，可以參考印證，卽 5,000 γ 左右之劑量，對儲藏最有利，而對營養分之損失較少；但放射能處理諸類塊根，對 Vitamin A、C 內含物均不免有損失。[4,5]而影響其營養價值。

本研究進行中，承本所農藝系研究助理王文中先生及張珍鉷鈕涵英二小姐惠予協助，附此誌謝。

參 考 文 獻

(1) A. H. SPARROW and E. CHRISTENSEN: Improved Storage Quality of potato tubers after exposure to CO^{60} GAMMAS (1955)

(2) CONNON B. JOHNSON: Metta and Tsien; The effect of irradiation. (1958)

(3) R. A. SILOW: The Potential contribution of atomic energy to development in agriculture and related industries (1958)

(4) 汪呈因：最近原子能在農業上應用之發展。中華農學會報新27期(1959)

(5) 松尾孝嶺著、胡兆華譯：放射線誘變育種之研究(1958)

A STUDY ON THE EFFECT OF X-RAY EXPOSURE ON THE STORAGE QUALITY OF SWEET POTATO AND ON THE NUTRIENT CONDITION CONTAINED OF THE TUBER

by

T. S. MIU & K. T. TSON

SUMMARY

After a world-wide research on the application of atomic energy to agriculture and food production in different countries during the recent years, it is quite unlikely to replace entirely other methods of food preservation in the forseeable future, but that it will, for appropriate purpose, gradually come into use as a supplement to them under suitable conditions, each of the traditional methods of food preservation such as refrigeration, heat sterilization, or the use of chemical treatments and antibiotics is recognized as having specific advantages for particular kinds of foods. Therefore, there is a general interest in the study of applying low dosages of irradiation in combination with the methods of food preservation, in order to devise new improved

storage methods.

The present report is based upon a project studied in 1959–1960 at Taipei by the Dept. of Agronomy of the Taiwan Agricultural Research Institute, in which project the operation of x-ray irradiation was cooperated with Institute of Nuclear Science, National Tsing Hua University.

Tubers of sweet potato of two varieties, Tainung 57 and 58, was employed as the testing material. In order to study the effect of irradiation on the sweet potato tubers during storage, 4 sets of tubers of sweet potato were subjected to the exposure of x-ray on January 15, 1960. After being x-rayed, they were placed in airy wire case on the following days. The physiological and chemical changes of the x-rayed and the controlled tubers were compared in a series of studies.

It has been found that the application of dosages as high as 70,000 γ, 140,000 γ or higher to the tubers of sweet potato is not practical for the purpose of storage, for the tubers when subjected to such high dosages, become quickly or gradually softened within 3 months. Some of the tubers after being treated with 70,000 γ or higher dosages, a part of the flesh became turning brown in colour. But the treatments with lower dosages such as 5,000 γ and 10,000 γ seemed to be applicable for the purpose of tuber storage. In the observation made after the tubers were stored for three months, only with the exception of 1,250 γ level, no effect on the inhibition of sprouts was found. However, in the samples treated with 5,000 γ and 10,000 γ, sprouting was apparently reduced, and their weight loss during the storage was also reduced.

Even after a prolonging storage for 5 months, the sample with 5,000 γ treatment showed only some slightly budded eyes and its tubers still maintained a fresh condition, whereas the sample with 10,000 γ dosage has become decayed. The tubers used as control decayed also or sprouted with long stems and leaves, losting weight severely. It is thus concluded that the treatment with 5,000 r dosage could be advantageously used for storage purpose.

As for the chemical changes between the tubers x-rayed and the control, there seemed to be no significant difference in the change of crude protein and amino acids, but Vitamine A and C were inveritably decreased in the tubers even they were exposured to lower x-ray dosages.

In combination with the experiment, a biological assay was also conducted in the Institute. 3 sets of small white mice, two of which were fed mainly with some small slices of the x-rayed sweet-potato of different dosages and the rest one fed with the tubers of the control sample to serve as a check. After 40 days the latter set of mice appeared to increase body weight rapidly, but the first two sets of mice fed with the x-rayed tubers gained body weight rather slowly.

It is thus inferred that the difference of the body weight increased is due to the difference of Vitamine content of A and C in the x-rayed tubers. A nasty odor present in the x-rayed tubers seemed to be also a factor that effected the appetite of the mice.

甘藷塊根表型之比較

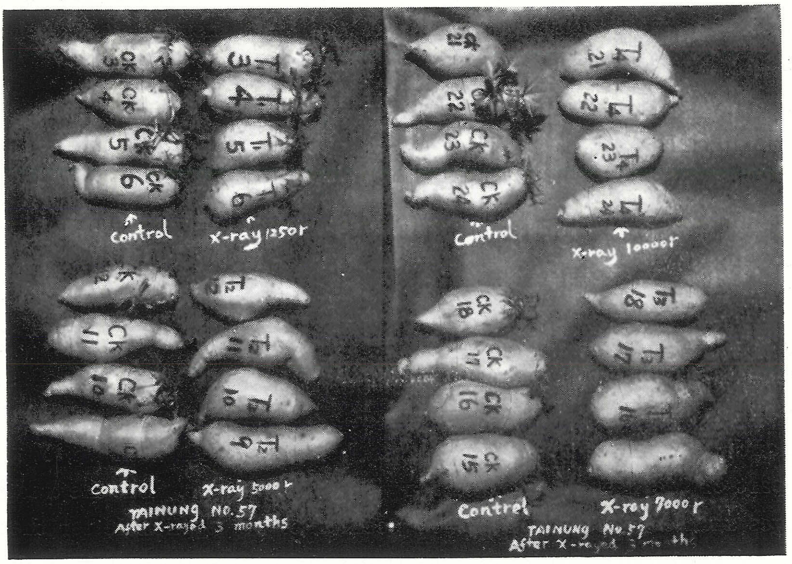


圖 I

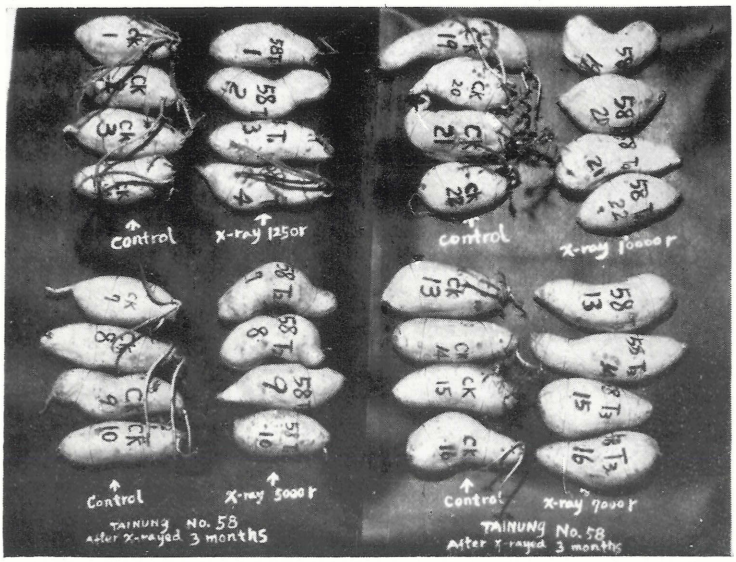
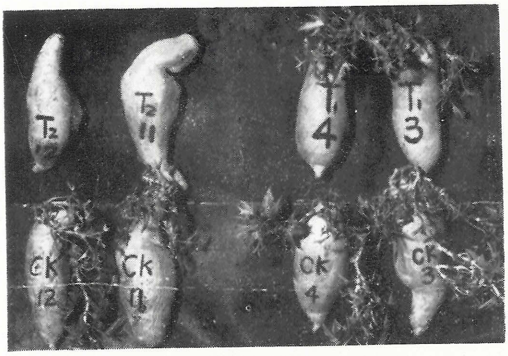
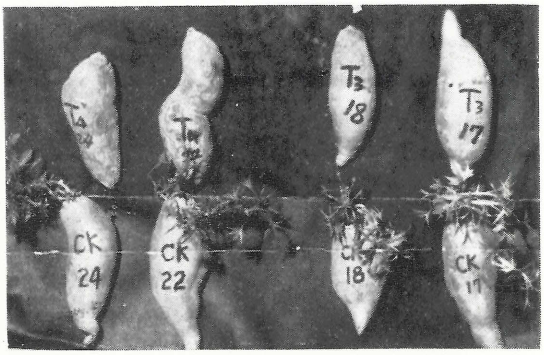


圖 II

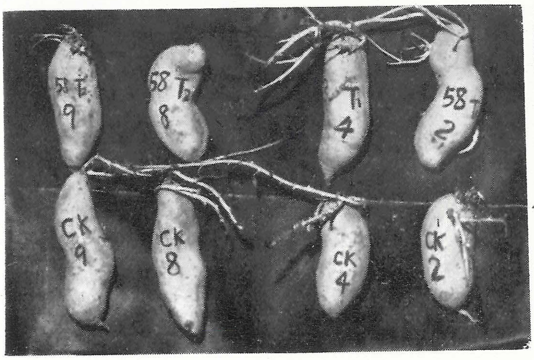
圖 I，II：甘藷塊根經X射線各級照射量處理後三個月表型圖



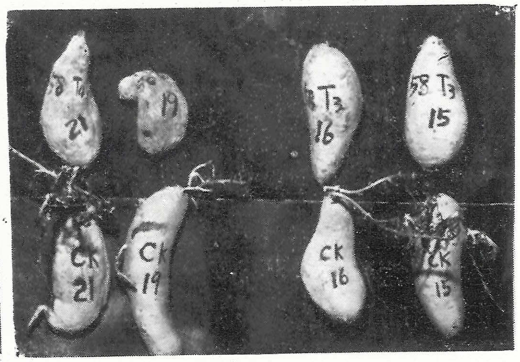
圖Ⅲ：(顯示 T_2 情形最佳)



圖Ⅳ：(顯示 T_4 已萎縮)



圖Ⅴ：(顯示 T_2 情形最佳)



圖Ⅵ：(顯示 T_4 已萎縮)

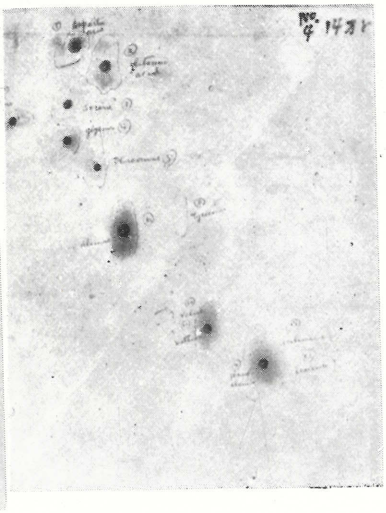
圖Ⅲ，Ⅳ。臺農57號甘藷；圖Ⅴ，Ⅵ。臺農58號甘藷。

經X射線照射後5個月表型圖（CK＝對照 $T_1=1,250\gamma$, $T_2=5,000\gamma$, $T_3=7,000\gamma$, $T_4=10,000\gamma$）

處理組與對照組氨基酸定性分析之比較

圖Ⅶ：對照(不處理)

圖Ⅷ：$70,000\gamma$



圖Ⅸ：$140,000\gamma$

圖Ⅶ，Ⅷ，Ⅸ：　處理(圖Ⅷ，Ⅸ)與未處理(圖Ⅶ)甘藷塊根所含氨基酸經定性分析在濾紙上所顯示之 Spot（表示並無重大差別）